

Análisis de la fiabilidad de proyecciones con cobertura global para la región Galicia – Norte de Portugal

Código: E.3.1

Acción: A.3.1

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

CAPTA

Cofinanciado por la Unión Europea a través del Programa Interreg VI-A España-Portugal (POCTEP) 2021-2027. Las opiniones son de exclusiva responsabilidad del autor que las emite.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	3
1.RESUMEN.....	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. MAPEO DE CAMBIOS O ACTUALIZACIONES EN LA BIOGEOQUÍMICA OCEÁNICA.....	6
4. SEGUIMIENTO DEL RENDIMIENTO DEL MODELO EN DOS GENERACIONES.....	8
5. CONCLUSIONES	10
REFERENCIAS	12

1.RESUMEN

Se estudiaron los cambios o actualizaciones en los componentes biogeoquímicos oceánicos entre las versiones de los modelos CMIP5 y CMIP6, y se evaluó en qué medida éstos generan mejoras en el estado medio simulado de los modelos biogeoquímicos marinos dentro de la generación actual de modelos del sistema terrestre (ESM).

A pesar de que la representación de la biogeoquímica marina ha avanzado dentro de la ESM, sigue siendo difícil identificar qué actualizaciones del modelo son responsables de una mejora determinada. Además, el potencial total de la biogeoquímica marina en términos de interacciones del sistema terrestre y retroalimentación climática sigue estando poco estudiado en la ESM.

2. INTRODUCCIÓN

La biogeoquímica marina desempeña un papel fundamental en el sistema terrestre. Al regular el intercambio de CO₂ y otros gases climáticamente activos en la atmósfera, participa en una amplia gama de retroalimentaciones climáticas. Como resultado, los cambios en la biogeoquímica oceánica pueden tener importantes consecuencias para el clima. La biogeoquímica marina también está profundamente entrelazada con el funcionamiento de los ecosistemas marinos y, por tanto, de las redes tróficas. Los ecosistemas marinos se ven afectados por el cambio ambiental causado por los humanos, en particular a través de cambios en las propiedades físicas inducidas por el clima y la acidificación de los océanos inducida por el CO₂. Entender y cuantificar la respuesta de la biogeoquímica oceánica a los cambios globales, así como su papel en las retroalimentaciones del sistema terrestre, es esencial para mejorar nuestra capacidad de proyectar los servicios ecosistémicos y el cambio climático en este siglo y en los futuros.

En este contexto, los modelos biogeoquímicos oceánicos son herramientas potentes para estudiar el ciclo del carbono oceánico y su respuesta a los cambios climáticos y químicos pasados y futuros. Desde la evaluación pionera de la absorción antropogénica de carbono por el océano y el Proyecto de Intercomparación de Modelos de Carbono Oceánico (OCMIP), los modelos biogeoquímicos oceánicos se han integrado con éxito en numerosos modelos del sistema terrestre.

En las últimas décadas, los resultados de los modelos biogeoquímicos oceánicos que se ejecutan en los Modelos del Sistema Terrestre (ESMs) se han utilizado cada vez más para impulsar la investigación sobre el ciclo del carbono. Sus resultados han respaldado la evaluación de las retroalimentaciones del ciclo del carbono y han mejorado la comprensión de los mecanismos que subyacen a la respuesta climática transitoria casi lineal a las emisiones acumuladas de CO₂. En consecuencia, han ayudado a determinar el cambio en los balances de carbono compatible con un nivel dado de calentamiento desde la época preindustrial. Los modelos biogeoquímicos oceánicos también se han utilizado para investigar posibles soluciones de geoingeniería al cambio climático, como la gestión de la radiación solar, la fertilización oceánica, la adición de alcalinidad y los experimentos de reversibilidad.

En este estudio se detallan los cambios o actualizaciones en los componentes de la biogeoquímica oceánica que han surgido entre el CMIP5 y el CMIP6, y se evalúa en qué medida éstos han generado mejoras reales en la capacidad del modelo en comparación con las observaciones actuales. En general, esta evaluación demuestra que el estado medio simulado de los modelos de biogeoquímica oceánica en el CMIP6 es más realista que el producido por sus análogos del CMIP5 en muchos aspectos. Sin embargo, sigue siendo difícil identificar con claridad qué cambios en un modelo de biogeoquímica oceánica determinado son responsables de estas mejoras y cuales simulan mejor el ciclo de carbono en un área determinada.

3. MAPEO DE CAMBIOS O ACTUALIZACIONES EN LA BIOGEOQUÍMICA OCEÁNICA

En este punto, se revisan los cambios o actualizaciones implementados por los grupos de modelos participantes, buscando detalles sobre la resolución del modelo y la complejidad en biología marina entre otros.

Se estudiaron las actualizaciones en la resolución horizontal y vertical de los modelos físicos oceánicos, así como también los cambios en la parametrización física oceánica relacionada. Como se sugiere en Griffies et al. (2010), un aumento en la resolución horizontal o vertical permite la representación de procesos físicos oceánicos a escala más fina (por ejemplo, remolinos de mesoscala) en relación con la actividad de parametrizaciones físicas oceánicas más realistas (como la mezcla vertical, el ciclo diurno o el acoplamiento con la atmósfera).

La primera diferencia común entre los modelos del CMIP5 y el CMIP6 proviene de los componentes océano – hielo marino. De hecho, es interesante observar que 8 de los 12 grupos de ESM utilizan una versión mejorada de los modelos oceánicos o emplean un nuevo modelo oceánico. Estos cambios implican actualizaciones o revisiones importantes en las parametrizaciones físicas del océano que podrían tener un impacto en la circulación a gran escala y la mezcla vertical.

Además, otra diferencia común entre los modelos oceánicos utilizados en CMIP5 y CMIP6 es la resolución de la cuadrícula. Cabe destacar que todos los modelos oceánicos, con excepción de MPI-ESM1-2-LR, ahora resuelven la dinámica oceánica con una resolución horizontal nominal mínima de 100 km. La resolución horizontal nominal más alta en el conjunto multimodelos disponible es de 50 km (GFDL-ESM4). A pesar de este aumento general en la resolución horizontal, solo GFDL-CM4 utiliza un modelo oceánico que permite la formación de remolinos (~25 km). Además, la generación actual de modelos oceánicos también representa mejor los procesos físicos verticales con una resolución vertical típicamente más precisa.

Otra diferencia común entre las dos generaciones de modelos es la complejidad de la descripción del ecosistema marino y las parametrizaciones relacionadas. En este caso, la dificultad abarca, entre otros parámetros, la diversidad de la red trófica del modelo y la variación en las proporciones estequiométricas modeladas de carbono, nitrógeno y otros elementos. Una mayor complejidad no implica necesariamente una mejor representación de los ciclos y procesos asociados a cada especie biogeoquímica, ya que puede introducir nuevos grados de libertad o interacciones no lineales entre las parametrizaciones.

Los modelos de biogeoquímica oceánica abarcan una amplia gama de niveles de complejidad. Los más simples utilizan modelos del ciclo del carbono oceánico basados en el protocolo OCMIP, que no incluyen la biota marina ni los nutrientes. Mientras que los más complejos incluyen una estructura trófica amplia que agrupa a los organismos marinos en diferentes tipos según su función biogeoquímica.

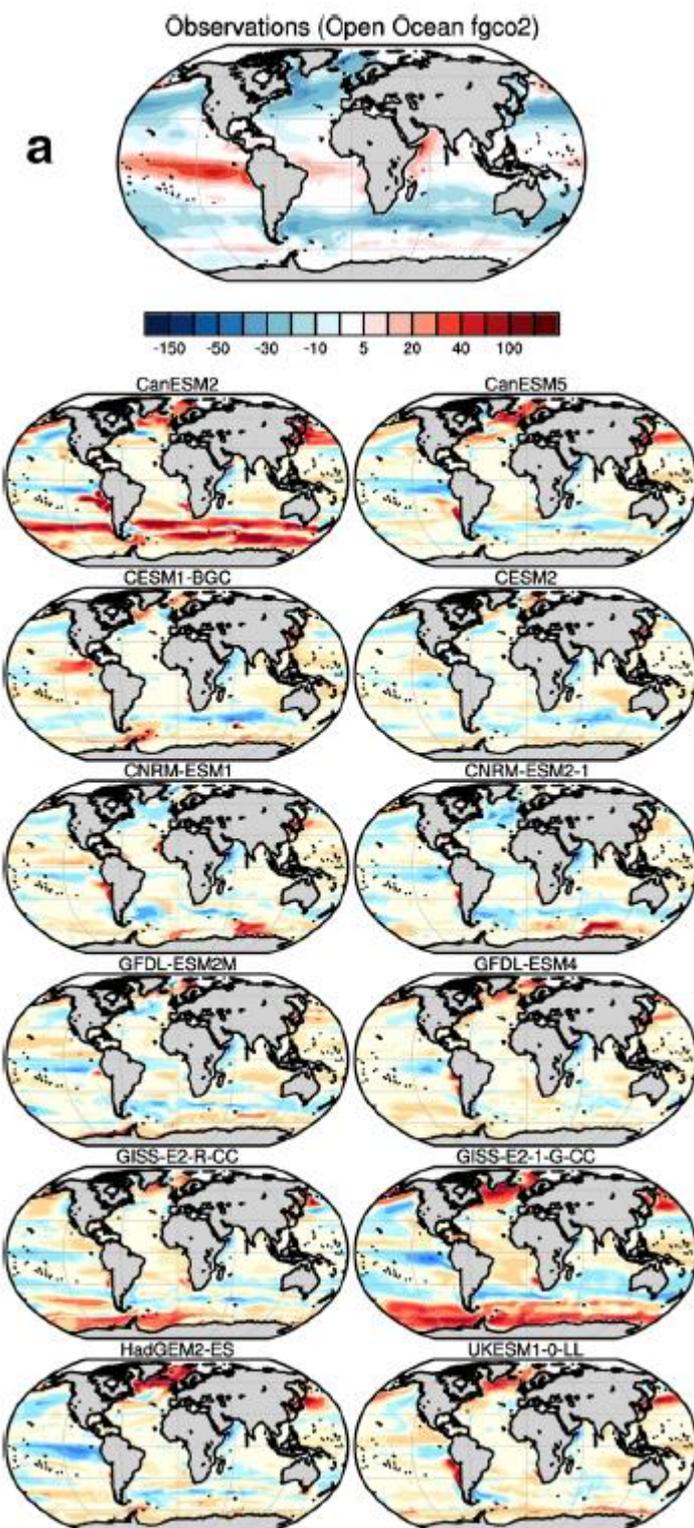
También hay que destacar cambios notables en las parametrizaciones biogeoquímicas entre el CMIP5 y el CMIP6. Estos cambios afectan a 10 de los 12 modelos biogeoquímicos analizados, y podrían estar relacionados con la modificación de la complejidad del modelo o con un conjunto revisado de parametrizaciones.

Se observa que la generación actual de CMIP6 presenta una mayor diversidad de modelos biogeoquímicos marinos que CMIP5.

Finalmente, podemos ver que diferentes modelos CMIP han avanzado hacia una mejor representación del ciclo del carbono orgánico marino.

4. SEGUIMIENTO DEL RENDIMIENTO DEL MODELO EN DOS GENERACIONES

En la Figura 1, se muestra el rendimiento de la generación actual de modelos de medición de la atmósfera (ESM) que participan en el CMIP6 (columna derecha), junto con sus modelos predecesores, el CMIP5 (columna izquierda), en océanos abiertos para el flujo mar – aire del gas crítico de efecto invernadero, CO₂, con un producto de datos basado en el mapeo de datos observacionales de pCO₂ extraídos del producto Landschützer et al. (2016) promediadas para el período de 1995 – 2014 (primer panel superior en la Figura 1). Los demás paneles muestran sesgos en los datos del modelo, promediados para el mismo período. Las áreas coloreadas indican la diferencia absoluta en la magnitud de los flujos de mar – aire entre los datos del modelo. Las regiones rojas indican áreas en los modelos donde la magnitud del flujo mar – aire es mayor que la observada, mientras que las regiones azules indican lo contrario. Las características geográficas clave de esto son una fuerte desgasificación (es decir, un flujo neto mar – aire) en regiones de afloramiento, más evidente en los trópicos y a lo largo de la región ecuatorial del Océano Pacífico, y una ingasificación (es decir, un flujo neto aire – mar) en latitudes templadas y subpolares. Estas características reflejan procesos regidos por la temperatura, los patrones de formación de aguas profundas, la producción biológica superficial y la circulación termohalina.



En general, las generaciones de modelos CMIP5 y CMIP6 muestran una combinación de sesgos positivos y negativos a nivel mundial, con discrepancias en el signo de los flujos de carbono en algunas regiones. Los patrones comunes son sesgos ligeramente negativos, tanto en el Pacífico ecuatorial (es decir, una débil desgasificación) como en el Atlántico Norte (es decir, una excesiva ingasificación). Ambas generaciones de modelos muestran una combinación de sesgos positivos y negativos relativamente pequeños, excepto el modelo CMIP5 CanESM2, que presenta el mayor error entre los datos del modelo de todo el conjunto de modelos. Sin embargo, la comparación con las observaciones ha mejorado sustancialmente en CanESM5. De forma más general, la Figura 1 destaca MPI-ESM1-2-LR, que utilizó el mismo modelo oceánico y muestra el mismo patrón de discrepancia entre el modelo y los datos para CMIP5 y CMIP6.

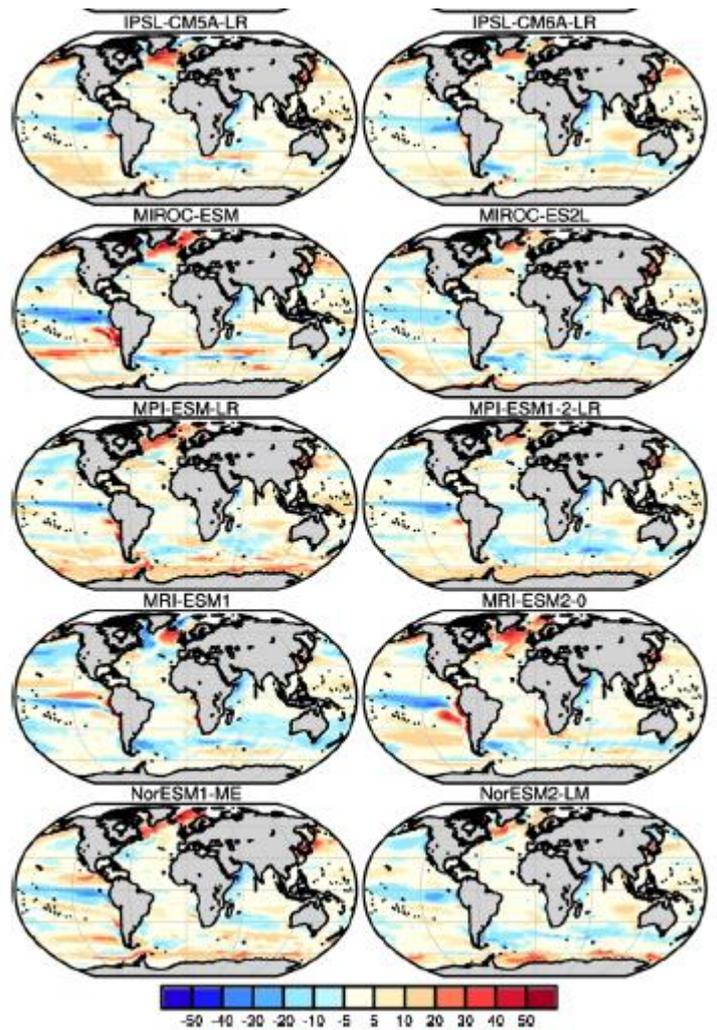


Figura 1. Comparación de datos del modelo de los flujos de carbono mar – aire en océanos abiertos ($fgCO_2$), simulados por modelos biogeoquímicos oceánicos integrados en los modelos del sistema terrestre CMIP6 (columna derecha) y CMIP5 (columna izquierda). El primer panel superior muestra estimaciones basadas en observaciones de Landschützer et al. (2016), promediadas para el período 1995 – 2014.

5. CONCLUSIONES

En la revisión de los modelos disponibles del sistema terrestre destaca que la generación actual de modelos biogeoquímicos marinos utilizados para el CMIP6 presenta una mayor diversidad que la anterior, utilizada para el CMIP5. Varios modelos biogeoquímicos marinos han evolucionado hacia una representación más completa de la biogeoquímica marina de distintos elementos relevantes para la química atmosférica. Por el contrario, algunos grupos han limitado el aumento de la complejidad del modelo entre el CMIP5 y el CMIP6. Finalmente, cabe destacar que algunos grupos han comenzado a investigar el uso de modelos biogeoquímicos marinos de complejidad reducida (es decir, GFDL) o a intercomparar el impacto del aumento de la complejidad en la biogeoquímica marina simulada (CanESM).

Al compararlos con las observaciones, la mayoría de los modelos CMIP6 generalmente superan a sus predecesores CMIP5 en muchas regiones y para la mayoría de los campos biogeoquímicos marinos analizados. Sin embargo, esta revisión del modelo también ha puesto de manifiesto varios errores sistemáticos en los datos del modelo que persisten incluso en los modelos CMIP6.

También se observa que los enfoques de modelado han evolucionado entre el CMIP5 y el CMIP6. De hecho, la mayoría de los grupos de modelado han desarrollado su modelo durante un período más largo para el CMIP6 con respecto al CMIP5 para cumplir con el criterio de deriva propuesto por Jones et al. (2016). Por el contrario, el uso de ajustes y calibración para modelos biogeoquímicos marinos para el CMIP sigue siendo una característica menos común en la época del CMIP6.

Finalmente, esta revisión del modelo del rendimiento del estado medio del mismo en comparación con sus propiedades (resolución, complejidad) sugiere que ni el aumento de la resolución ni el aumento de la complejidad conducen automáticamente a una mejora del modelo. En cambio, la mejora es una combinación de avances en los procesos físicos oceánicos y una mejor representación de los procesos biogeoquímicos.

Con la intención de aumentar la confianza en las proyecciones climáticas futuras, es importante destacar que el rendimiento del estado medio del modelo no es la única forma para comprender la incertidumbre multimodelo; las comparaciones con las variaciones estacionales y plurianuales en las cantidades observadas pueden, en último caso, resultar cruciales para confiar en las proyecciones climáticas futuras.

Como trabajo futuro, se indican algunas ideas en las que los modelos biogeoquímicos marinos podrían seguir mejorando o progresando.

El primer cambio importante que se espera en la próxima generación de modelos es la aparición de modelos biogeoquímicos oceánicos de alta resolución, aptos para investigar la simulación a escala centenaria. Este cambio radical puede basarse en varias formas: (1) la disponibilidad de mayores recursos computacionales; (2) el uso de esquemas numéricos de resolución híbrida para reducir el coste de los modelos biogeoquímicos; (3) menor complejidad de los modelos biogeoquímicos marinos; (4) el uso del aprendizaje automático para acelerar los modelos biogeoquímicos marinos o para reducir el coste numérico necesario para mejorar su rendimiento. Estos y otros cambios ayudarán a comprender hasta qué punto la física oceánica de mesoscala o submesoscala podría cambiar la respuesta de la biogeoquímica marina al aumento del CO₂ y al cambio climático, un factor ausente en dichos modelos ya destacado en el CMIP5 y el AR5 del IPCC.

Desde la perspectiva del seguimiento de las futuras mejoras del modelo, es importante destacar que la capacidad para evaluar el rendimiento del modelo resultante de cualquiera de los posibles avances mencionados anteriormente depende de la mejora continua de las restricciones observacionales. Las restricciones actuales son adecuadas para detectar grandes diferencias de habilidad entre los modelos CMIP5 y CMIP6, pero la mejora general de los modelos requiere comparaciones más precisas para detectarlas. Es difícil hacer estas comparaciones por la escasez de datos y las incertidumbres en los algoritmos diseñados para derivar campos globales a partir de datos dispersos o deducir propiedades de interés a partir de variables detectadas remotamente. La mejora continua de la calidad y la cantidad de las restricciones basadas en datos es fundamental.

La revisión de los pares disponibles de modelos biogeoquímicos marinos CMIP5 – CMIP6 sugiere fuertemente que es necesario considerar cuidadosamente la complejidad del modelo en relación con su idoneidad para el propósito de los mismos. De hecho, al comparar la dificultad del modelo con el rendimiento del estado medio del modelo, se sugiere que los modelos complejos no necesariamente superen a los modelos simples. En este sentido, se muestra que los modelos simples siguen siendo viables al investigar las retroalimentaciones del ciclo del carbono, aunque los modelos más complejos aún permiten una mejor vinculación con la biodiversidad marina o una gama más amplia de retroalimentaciones y un comportamiento potencialmente más realista del sistema terrestre.

REFERENCIAS

- Séférian, R., Berthet, S., Yool, A. *et al.* Tracking Improvement in Simulated Marine Biogeochemistry Between CMIP5 and CMIP6. *Curr Clim Change Rep* 6, 95–119 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40641-020-00160-0>
- Griffies SM, Adcroft AJ, Banks H, Boning CW, Chassignet EP, Danabasoglu G, et al. Problems and prospects in large-scale ocean circulation models. In: Hall J, Harrison DE, Stammer D, editors. *Proceedings of the OceanObs'09 Conference: Sustained Ocean Observations and Information for Society*, 21–25 September 2009, Vol. 2. Venice: ESA Publication WPP; 2010. p. 306.
- Landschützer P, Gruber N, Bakker DCE. Decadal variations and trends of the global ocean carbon sink. *Glob Biogeochem Cycles*. 2016;30:1396–417. <https://doi.org/10.1002/2015GB005359>.
- Jones CD, Arora V, Friedlingstein P, Bopp L, Brovkin V, Dunne J, et al. C4MIP – the Coupled Climate–Carbon Cycle Model Intercomparison Project: experimental protocol for CMIP6. *Geosci Model Dev*. 2016;9:2853–80. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-2853-2016>.